



НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ Часть 2. Высокотехнологичные системы класса MES

В.М. Дозорцев, Д.В. Кнеллер,

Л.Р. Соркин, Н.В. Шестаков (Корпорация "Хоневелл")

Разработка, внедрение и эффективная эксплуатация высокотехнологичных систем промышленной автоматизации (ВСПА) невозможны без специально подготовленных кадров. Сегодняшние вузы не могут обеспечить такую подготовку в одиночку. В статье предлагаются способы решения этой проблемы путем создания базовых кафедр и внедрения инновационных технологий обучения. В публикуемой заключительной части статьи анализируются вопросы подготовки специалистов для систем класса MES: оперативного управления производством, производственного планирования и составления расписаний, управления цепочками поставок.

Ключевые слова: высокотехнологичные системы промышленной автоматизации, MES, оперативное управление производством, производственное планирование и составление расписаний, управление цепочками поставок.

Введение

В первой части статьи [1] обсуждалась проблема подготовки разработчиков, "внедренцев" и эксплуатационников высокотехнологичных систем промышленной автоматизации (ВСПА) РВ, то есть тех систем, где управляющие воздействия вырабатываются в темпе работы технологического объекта. Это системы усовершенствованного управления (АРС), компьютерные тренажеры для обучения операторов, системы инжиниринга на основе имитационного моделирования. В то же время, промышленная автоматизация затрагивает и уровень управления в режиме "off-line" (то есть "вне замкнутого контура"), когда собранные в РВ данные о функционировании ТП и состоянии внешней среды перерабатываются в управляющие воздействия на производство в целом, затрагивая его технологические, экономические и организационные составляющие. Этот четвертый уровень пирамиды промышленной автоматизации [1] принято называть MES (от Manufacturing Execution Systems), и его содержание близко к традиционной для нашей страны тематике АСУП. Однако в линейке MES-продуктов появились новые по сравнению с АСУП задачи, а многие ранее существовавшие задачи наполнились принципиально новым содержанием, главным образом благодаря прорыву в информационных технологиях на данном направлении автоматизации. Принципиально при этом, что MES-задачи не могут реализовываться в отрыве от автоматизации РВ, являющейся основным источником реальной информации о состоянии ТП.

Настоящая часть статьи посвящена подготовке специалистов по MES, которая пока отстает как от возможностей современных систем автоматизации, так и от задач, стоящих перед сегодняшним производством.

Высокотехнологичные задачи класса MES

Между задачами управления ТП и задачами финансово-экономического и организационно-хозяйственного управления, решаемыми системами класса ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия), лежит широкий слой задач управления и планирования производства (как сказано выше, будем называть их MES-задачами). До последнего времени им уделялось явно недостаточное внимание на отечественных промышленных предприятиях и в компаниях, в то время как именно производство представляет собой основной ресурс и главный центр затрат предприятий. Сейчас наблюдается "бум" интереса производителей и руководства предприятий и компаний к MES-задачам, отчего вопрос подготовки кадров соответствующей квалификации становится еще критичнее. Ниже приводится краткая характеристика таких задач и обсуждаются проблемы подготовки соответствующих специалистов.

Системы оперативного управления производством

К основным задачам оперативного управления производством можно отнести:

- сбор, хранение и визуализация технологических и управляющих данных, циркулирующих в производственной среде;
- текущий мониторинг и диспетчеризация производства;
- контроль состояния и распределения ресурсов производства;
- управление качеством продукции;
- управление производственными фондами (техобслуживание);
- календарное планирование производства (составление производственных расписаний);
- анализ ключевых показателей эффективности производства;

- управление производственными документами и др.

Внедрение многофункциональной MES позволяет иметь достоверную, оперативную, релевантную информацию о ходе производственных процессов. А своевременно получаемая, объективная и достаточно полная информация позволяет существенно более эффективно и целенаправленно решать задачи управления производством, обеспечивая повышение качества и объемов продукции, сокращение затрат и др.

Структурно системы класса MES строятся следующим образом. В качестве хранилища информации, как правило, используются реляционные БД (типа ORACLE, MS SQL Server) в связке со специализированными БД РВ, обеспечивающими сбор, хранение и "компрессию" информации, поступающей от технологических установок и производств. Средствами этих же БД обычно строится и так называемая референтная модель (РМ) производства, описывающая все единицы оборудования, внутривозовские транспортные системы (трубопроводы и т.п.), различные источники технологических данных (датчики, в частности, расходомеры и т.п.) и др. Использование РМ позволяет в дальнейшем при появлении любых изменений на производстве (ввод новых элементов оборудования и КИП, трубопроводных развязок, насосов и т.п.) проводить соответствующую модификацию лишь самой референтной модели, не затрагивая и не перенастраивая многочисленных прикладных подсистем MES, решающих различные функциональные задачи и являющиеся своеобразной надстройкой над информационным базисом MES (СУБД + БДРВ + РМ). В качестве же этих прикладных подсистем, как правило, выступают различные функциональные модули, такие как:

- лабораторная система;
- система верификации производственных данных и расчета материальных и энергетических балансов;
- система формирования оперативных производственных инструкций;
- система расчета ключевых показателей функционирования производства;
- система формирования производственных расписаний и др.

Системы производственного планирования и составления расписаний (APS – Advanced Planning and Scheduling) и системы управления цепочками поставок (SCM – Supply Chain Management)

Вопросы производственного планирования и управления цепочками поставок (на уровне компании) нередко относят к "компетенции" ERP, в то время как системы, реализующие данные функции (по крайней мере на предприятиях и в компаниях с непрерывным характером производственного процесса – нефтепереработка, нефтехимия и др.), на наш взгляд, представляют собой верхний уровень MES, активно информационно взаимодействующий как с системами класса ERP, так и с другими подсистемами и хранилищами данных внутри своего класса.

Системы производственного планирования и составления расписаний (APS) [2, 3] и системы управления цепочками поставок (SCM) [4] представляют собой оптимизационные системы потокового моделирования (зачастую с учетом качества конечных и промежуточных продуктов), обеспечивающие расчет производственных планов (на горизонте месяц-квартал-год и более), а также планов размещения сырья и поставок товарных продуктов.

Структурно эти системы состоят из набора специализированных БД, библиотек, программных модулей и процессоров, обеспечивающих генерацию модели (производства и/или транспортной логистики поставок сырья и сбыта продукции) в виде матрицы задачи математического программирования с последующей оптимизацией и формированием выходных форм и отчетов.

Применение данных систем в практике планирования производств, предприятий и компаний позволяет осуществлять многовариантные оптимизационные сценарные расчеты по планам производства и поставок сырья и продукции (с учетом различных возможных производственных ситуаций и внешних рыночных факторов), обеспечивая существенные экономические и организационные выгоды.

Некоторые вопросы образовательного процесса при подготовке специалистов по MES

При подготовке специалистов как участвующих в разработке и внедрении систем класса MES, так и эксплуатирующих эти системы необходимо уделять особое внимание следующим вопросам.

1. *Общематематическая подготовка* будущих специалистов MES должна быть существенно усилена по таким дисциплинам, как:

- математическое программирование (в первую очередь линейное и целочисленное программирование, постоптимальный анализ);
- регрессионный анализ;
- теория вероятностей и математическая статистика;
- общие вопросы исследования операций (в частности, методы и процедуры построения моделей и др.).

При этом стоит отметить, что, например, от специалистов, эксплуатирующих системы оптимального планирования и составления производственных расписаний, требуются ничуть не меньшие знания основ математического программирования, чем от специалистов, внедряющих эти системы. Только акценты, по-видимому, здесь могут быть разные. Дело в том, что ключевым моментом в принятии плановых решений является правильная интерпретация результатов оптимизационных расчетов, базирующаяся на анализе двойственных оценок оптимального плана, — а это основы постоптимального анализа. Поэтому будущим эксплуатационникам следует больше внимания уделить именно этому разделу математического программирования, в то время как "внедренцам" имеет смысл больше сосредоточиться на практических вопросах численных методов оптимизации.

ции (подбор и корректировка коэффициентов рекурсии в симплекс-методе и т.д.).

Знание основ регрессионного анализа очень важно для специалистов, работающих с системами верификации производственных данных и расчета материальных и энергетических балансов. Современные системы такого класса насчитывают в своем составе до 5...7 различных регрессионных алгоритмов, и успешное внедрение и эксплуатация таких систем просто немыслимы без соответствующих знаний в данной области. Знание статистики и теории вероятностей очень пригодятся при работе с различными прикладными системами, работающими с качествами (лабораторные системы, системы расчета качества нефти и т.п.). Овладение же основами исследования операций позволит выработать у будущих специалистов системный подход, овладеть методологией построения моделей и т.д. Именно на эту дисциплину будущим разработчикам и "внедренцам" ВТСА следует обратить первоочередное внимание.

2. *Общепрограммистская и "автоматизационная"* подготовка должна обязательно включать следующие курсы:

- базы данных — информационная основа всех современных решений по автоматизации производства, и хорошее владение этим материалом в полном объеме чрезвычайно важно для разработчиков и "внедренцев"; эксплуатационники в большей степени могут сконцентрироваться на вопросах администрирования БД без глубокого погружения в "базовую начинку";
- построение интерфейсов — очень важный предмет в первую очередь для "внедренцев" и разработчиков; ведь правильное, успешное построение удобных, эффективных интерфейсов — залог успешного внедрения системы на производстве;
- Web-технологии становятся все более популярными и востребованными при внедрении MES-решений практически на всех типах объектов автоматизации, и овладение этим предметом практически в равной мере важно сейчас для всех категорий молодых специалистов;
- основы АСУТП — главного источника информации для систем класса MES — очень важно и для разработчиков и "внедренцев", подключающих свои системы к средствам АСУТП для сбора и последующей обработки информации, необходимой для функционирования их систем, и для эксплуатационников, на постоянной основе "взаимодействующих" с АСУТП в своей каждодневной работе.

3. *Основы технологии и экономики соответствующих отраслей* (нефтепереработка, целлюлозно-бумажная промышленность, электроэнергетика и т.д.) чрезвычайно важно знать будущим разработчикам, "внедренцам" и эксплуатационникам, поскольку MES являются системами, существенно ориентированными на конкретные отрасли промышленности. Эти знания позволят молодым специалистам существенно более эффективно работать по своим направлениям, учитывая технологическую и экономическую специфику своих объектов

управления, добиваясь лучших результатов за счет глубокого понимания технологических нюансов и четко представляя экономические последствия принятия тех или иных управленческих решений.

Инновационное обучение специалистов по MES в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина Оснащение факультета автоматики и вычислительной техники

При обучении будущих специалистов по ВСПА важным этапом образовательного процесса является наработка навыков и приобретение реального опыта работы с системами автоматики, с которыми (или аналогами которых) выпускникам вуза придется столкнуться в каждодневной профессиональной жизни после окончания университета — то ли в лице разработчика и "внедренца" подобных систем, то ли их эксплуатационника.

В настоящее время корпорацией Honeywell совместно с руководством Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина проводятся работы по оснащению факультета автоматики и вычислительной техники новейшими разработками корпорации в области автоматизации. Эта работа началась сравнительно недавно, тем не менее на факультет уже переданы и находятся в стадии освоения следующие программные продукты Honeywell класса MES:

- база данных PB Uniformance PHD;
- специализированная система верификации производственных данных и расчета материальных и энергетических балансов Production Balance;
- специализированная система расчета и мониторинга ключевых показателей функционирования предприятия KPI Manager;
- система мониторинга хода производственного процесса Operations Monitoring;
- специализированное приложение для визуализации производственных данных с использованием Web-технологий WorkCenter PKS;
- специализированное программное средство формирования производственных инструкций на основе производственных расписаний (с возможностью последующего автоматического экспорта в системы APC) — Operating Instructions;
- электронный журнал операторов производственных смен — Operations Logbook;
- набор разнообразных промышленных интерфейсов и вспомогательных подпрограмм и др.

На базе указанных систем автоматизации в ходе учебного процесса на факультете предполагается реализовать большое число лабораторных и курсовых работ, осуществлять подготовку и защиту бакалаврских и магистерских диссертаций.

MES-компоненты "Виртуального НПЗ" на кафедре технологии переработки нефти

В первой части работы описан реализуемый корпорацией Honeywell проект "Виртуальный НПЗ" [1]. В классе MES в рамках этого проекта в университете

Кого время не обучило, на обучение того никому не надо тратить усилий, ибо усилия эти пропадут напрасно.

Унсур Альмаали (Кей Кабус)

данными и проведение контрольных проверок. Ознакомление и работа студентов и аспирантов факультета с системами

на кафедре технологии переработки нефти установлены следующие ВСПА.

1. *Системы управления производством*: оптимальное компаундирование бензинов (система BLEND), управление качеством продукции (система Q-PRESS), лабораторная система (LINK).

Система BLEND представляет собой сложный программный комплекс, направленный на решение задач расчета оптимальных рецептур смешения товарных нефтепродуктов и планирования операций компаундирования.

В системе имеются возможности нелинейного смешения октановых чисел и других показателей качества путем расчета нелинейных бонусов смешения и индексов смешения, которые должны быть использованы в моделях смешения бензинов.

В результате проведения расчетов на системе формируется оптимальный график проведения смешений на заданном временном интервале, а также рассчитываются стартовые рецептуры для каждого конкретного смешения.

Система Q-PRESS предназначена для оценки основных физико-химических свойств нефти, жидких нефтепродуктов и газа, используемых в системах моделирования, в частности, RPMS и BLEND.

Система включает формулы прямого/обратного расчета индексов смешения с возможностью изменения параметров этих формул, расчет показателей качества при нелинейном смешении, пересчет единиц измерения и кривых разгонки нефти. Предусмотрена "настройка" расчетных формул по введенным данным. Система обеспечивает:

- оценку показателей качества нефтепродуктов и расчет индексов смешения;
- расчет нелинейного смешения по различным показателям качества;
- ведение БД и пересчет кривых разгонки различных фракций по ГОСТ и ИТК с пересчетом одного представления разгонки в другое.

Лабораторная информационно-управляющая система LINK представляет собой современную систему учета и контроля лабораторной информации, предназначенную для обрабатывающих отраслей. Система LINK поддерживает полную автоматизацию лаборатории и также интегрирует лабораторные данные с другими приложениями и системами на предприятии. Она предоставляет персоналу лаборатории средства построения графиков отбора проб и их регистрации, введения результатов анализа проб; сертификации продуктов на отгрузку и выпуск сертификатов анализа, для учета и контроля лабораторных операций и др. Система обеспечивает долгосрочное хранение всех данных по показателям качества, а также реализует ряд функций, обеспечивающих работу с лабораторными

класса "Управление производством" позволяет им глубже понять и осознать специфику практических задач оперативного управления, ежедневно возникающих на реальных предприятиях, всесторонне изучить вопросы, связанные с автоматизацией этих задач, на существенно более высоком качественном уровне воспринять теоретический материал из целого ряда курсов, читаемых на факультете. Кроме того, реальное освоение данных систем учащимися значительно облегчает их вхождение в профессиональную жизнь на предприятиях и в компаниях, эксплуатирующих или внедряющих эти или подобные им системы.

2. *Системы оптимального планирования производства*: средства моделирования и оптимизации работы НПЗ (RPMS), расчет сметы затрат НПЗ (система "Смета"), информационная система банка нефтей (MARKOIL), информационная экологическая система.

Система RPMS является сложным программным комплексом, предназначенным для решения разнообразных плановых, технологических и исследовательских задач на предприятиях и в компаниях нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей промышленности, в проектно-конструкторских и инженеринговых организациях. RPMS является эффективным средством моделирования указанных технологических производств и оптимизации их функционирования. Для целей оптимизации в системе RPMS используется аппарат линейного и нелинейного программирования.

Структурно система RPMS состоит из набора программных модулей, процессоров, библиотек и БД (практически по всем процессам нефтепереработки и нефтехимии), с помощью которых осуществляется генерация модели в виде матрицы задачи математического программирования, последующая оптимизация и формирование выходных форм и отчетов.

Благодаря работе с системой RPMS пользователи имеют возможность осуществлять технологическое моделирование своих производств (с использованием значительного числа "логических" установок, описывающих различные варианты их работы; прослеживанием различных качественных показателей по всей схеме переработки от нефти до товарной продукции; с использованием нелинейных моделей процессов), получая полную технико-экономическую картину производства (объем выпуска продукции по видам с качественными показателями и оптимальными целевыми рецептурами смешения, оптимальные загрузки установок, переменные составляющие затрат и др.).

Система СМЕТА представляет собой специализированный программный модуль, работающий в тесном взаимодействии с RPMS и обеспечивающий расчет сметы затрат по вариантам производственного плана. Система позволяет осуществлять автоматический импорт информации по условно-переменным и

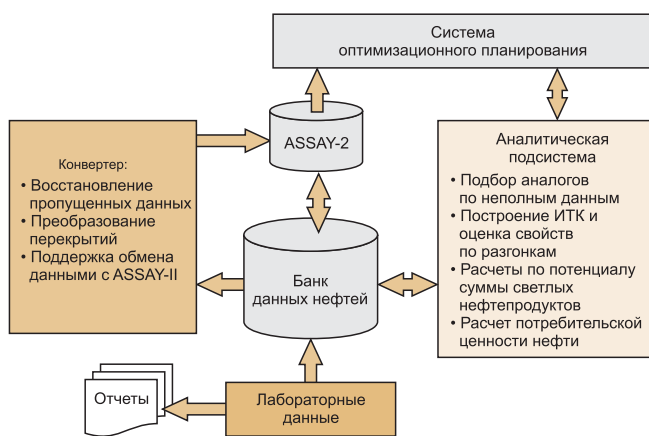


Рис. 1. Функциональная структура комплекса MARKOIL

условно-постоянным затратам, настройку модели расчета на конкретные условия планирования и способы учета элементов затрат, формирование сметы и ведение соответствующих архивов и БД.

Комплекс MARKOIL (рис. 1) состоит из:

- системы управления банком данных лабораторных исследований нефтей, поддерживающей БД свойств нефтей, экспорт/импорт и подготовку отчетов;
- конвертера — набора программных модулей, обеспечивающих восстановление пропущенных анализов и неполных данных и обработку перекрытий фракций по температурам начала и конца кипения;
- аналитической подсистемы — комплекса программных средств, обеспечивающих:
 - подбор аналогов нефти по неполным данным о ее свойствах с последующей оценкой основных характеристик нефти и ее фракций по свойствам аналогов;
 - оценку основных характеристик нефти и ее фракций по неполным данным о ее свойствах без использования библиотеки нефтей-аналогов;
 - расчет потенциала суммы светлых нефтепродуктов с учетом их ассортимента;
 - расчет потребительской ценности нефти;
 - RPMS-модели смешения нефтей;
 - системы ASSAY-2, обеспечивающей расчет характеристик смеси нефтей, восстановление части отсутствующих данных по свойствам нефтяных фракций и подготовку исходных данных для расчетов в системе оптимизационного планирования в соответствующем формате.

Информационная экологическая система представляет собой специализированный модуль, работающий в окружении системы RPMS и обеспечивающий расчет вредных выбросов в атмосферу в зависимости от сформированной в системе производственного планирования оптимальной технологической конфигурации и загрузки установок. Система реализует отраслевую методику по экологии и позволяет оценить экологические последствия реализации того или иного варианта производственного плана.

Работа с системами оптимального планирования производства позволит учащимся закрепить и значительно расширить и углубить знания, приобретенные

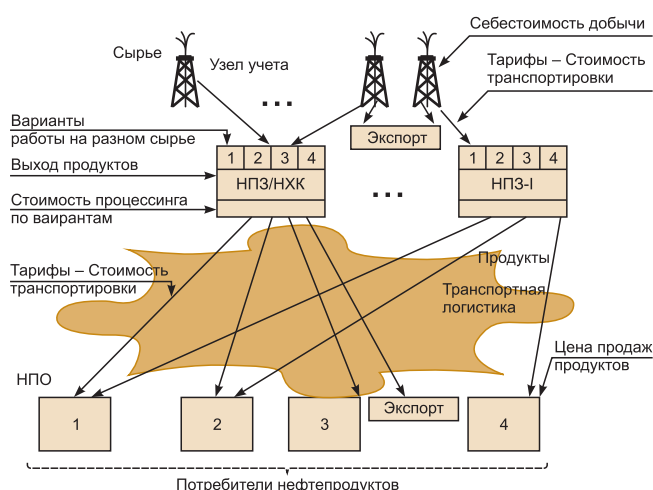


Рис. 2. Пример структуры агрегированной потоковой модели производственно-логистических операций ВИН

при изучении курса "Технология нефтепереработки и нефтехимии", ряда других курсов, затрагивающих технологические, экономические и экологические вопросы переработки нефти. Благодаря знакомству с этими системами студенты получают возможность комплексно взглянуть на различные аспекты нефтепереработки и нефтехимии, на модельном уровне отработать различные вопросы планирования и управления заводом в целом, изучить всевозможные сценарные условия работы установок и переделов производства в зависимости от изменяющихся внутренних и внешних условий функционирования объекта управления.

3. Уровень корпоративного управления

Система TRAST предназначена для решения задач класса Supply Chain Management путем построения оптимизационной агрегированной потоковой модели производственно-логистических операций вертикально-интегрированной нефтяной компании (ВИНК).

Переход к агрегированным потокам позволяет построить единую оптимизационную модель размещения сырья, производства и поставок продуктов с учетом транспортной логистики (рис. 2).

Сырье от узлов учета поступает на НПЗ, а также покупателям на внутреннем рынке и на экспорт. Производство описывается в виде набора агрегированных векторов выходов продуктов, увязанных с типом перерабатываемого сырья и диапазоном нагрузки на НПЗ. Произведенные на НПЗ продукты увязываются посредством транспортной сети с потребителями. В описании транспортной сети учитывается тип транспорта, ее пропускная способность и тариф за транспортировку продуктов с НПЗ до предприятий нефтепродуктообеспечения — НПО (например, нефтебазы). Сформированный набор линейных уравнений дополняется необходимыми ограничениями, критерием оптимизации (также линейным и включающим приоритеты и штрафы), и в результате генерируется указанная агрегированная потоковая модель в формате системы RPMS.

Результат решения определяет типы поставляемого сырья на НПЗ, варианты переработки и ассортимент получаемых продуктов с указанием логистики и транспорта их поставки на предприятия НПО. В результате увязываются воедино три задачи планирования (размещения сырья, его переработки и поставки продуктов) и определяется стратегия транспортировки продуктов. Это позволяет в дальнейшем перейти к более детальному раздельному моделированию трех указанных задач планирования.

Знакомство с этой системой в некотором смысле можно считать "введением в курс корпоративного управления", охватывающего основные пределы downstream-бизнеса ВИНК — распределение и транспортировка сырья от мест добычи до перерабатывающих предприятий, производство товарной продукции и ее поставки до сбытовых подразделений компании. "Проигрывая" различные производственные варианты и бизнес-ситуации на модели, учащиеся смогут существенно расширить свой кругозор, выработать глобальное видение бизнеса нефтяной компании, научиться мыслить широко и нестандартно.

Как и в случае ВСПА РВ, целевая группа пользователей MES-уровня описываемого проекта включает:

- студентов 4- и 5-го курсов технологических факультетов,
- студенты 4- и 5-го курсов сопряженных специальностей,
- магистрантов и аспирантов.

Подробнее о проекте и его первых результатах описано в [5, 6].

Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, руководитель отдела ЗАО "Хоневелл", проф. кафедры "Технология переработки нефти" РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина,

Кнеллер Дмитрий Владимирович — канд. техн. наук, руководитель отдела ЗАО "Хоневелл",

Соркин Леонид Рафаилович — д-р техн. наук, проф., директор по развитию бизнеса корпорации "Хоневелл" по России и странам СНГ, зав. кафедрой "Техническая кибернетика" МФТИ,

Шестков Николай Вадимович — д-р техн. наук, директор по высокотехнологичным решениям и консалтингу ЗАО "Хоневелл", проф. кафедры "Технология переработки нефти" РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.

Контактный телефон (495) 334-87-71.

E-mail: nikolay.shestakov@honeywell.com / victor.dozortsev@honeywell.com

Заключение

Ведущие вузы, располагающие методической базой и мощными профессорско-преподавательскими кадрами, и разработчики ВСПА, обладающие передовыми программными продуктами, фирменными "ноу-хау" и опытными специалистами, объединив усилия, могут качественно повысить уровень подготовки молодых специалистов. Через механизм базовых кафедр и спонсорское участие фирм в инновационных образовательных проектах можно подготовить новое поколение разработчиков, "внедренцев" и эксплуатационников систем автоматизации, способных ответить на вызовы современного производства. Корпорация Honeywell готова продолжать и расширять свои усилия в этом направлении на всех доступных образовательных площадках страны.

Список литературы

1. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В., Соркин Л.Р., Шестков Н.В. Новые подходы к профессиональной подготовке специалистов по промышленной автоматизации. Часть 1. Высокотехнологичные системы промышленной автоматизации реального времени // Автоматизация в промышленности. 2009. № 12.
2. Тарасов Ю. MES — ключевой уровень автоматизации // Intelligent Enterprise. 2006. № 19.
3. Kall J. MES: Leveraging Data for Competitive Advantage // Quality Digest. August. 1999.
4. Александров И. Интеграционное решение // iTime. 2008. № 1.
5. Батуттов А. Реальная польза "Виртуального НПЗ" // Нефть России. 2009. № 8.
6. Высокотехнологичные средства управления // Там же. 2009. Спец. Выпуск.

SMART-WAMS открывает новые возможности для диспетчерских центров

Компания РТСОфт расширила область применения комплекса SMART-WAMS, регистратора переходных процессов, используемого в системе мониторинга переходных режимов. Новые возможности комплекса SMART-WAMS производят on-line-ретрансляцию данных в соответствии с международным стандартом С37.118, что позволит в будущем создавать системы сбора данных нового поколения для диспетчерских центров и систем технологического управления.

Регистратор SMART-WAMS был разработан ЗАО "РТСОфт" совместно с ОАО "СО ЕЭС" и ЗАО "Институт Энергетических Систем" и предназначен для мониторинга параметров электрической сети в пределах контролируемого объекта и передачи данных в диспетчерский пункт по каналам связи. Высокое быстродействие и точная привязка к астрономическому времени позволяет детально исследовать переход-

ные процессы энергосистемы, выявлять низкочастотные колебания и производить прямые измерения разности углов фаз напряжений между объектами.

Комплексы SMART-WAMS устанавливаются на крупных энергетических объектах: электрических станциях и электрических подстанциях различного класса напряжения. Основой комплексов SMART-WAMS являются multifunctional измерительные преобразователи МИП-02 серии 10 — микропроцессорные измерительные устройства с прямым вводом, которые подключаются непосредственно к измерительным цепям тока и напряжения и обеспечивают измерение всех основных параметров трехфазной электрической сети. Особенность МИП-02 серии 10 состоит в возможности измерения параметров трехфазной сети на интервале от 20 мс.

[Http://www.rtssoft.ru](http://www.rtssoft.ru)